

УДК 677.024:681.3

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ НИТИ**

**ESTIMATION OF AN ERROR  
OF THE AUTOMATED YARN TENSION MEASURING DEVICE**

*В.В. ЛАПШИН*  
*V.V. LAPSHIN*

(Костромской государственной технологической университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: zdepart@kstu.edu.ru

*В статье предложена методика расчета результирующей погрешности измерительного канала программно-аппаратного комплекса для измерения натяжения нитей.*

*The design procedure of a resultant error of the measuring channel of a hardware-software complex for threads tension measurement is offered in the article.*

**Ключевые слова:** метрологические характеристики, погрешность, измерительный канал, автоматизированное устройство, класс точности.

**Keywords:** metrological characteristics, an error, a measuring channel, an automated device, an accuracy class.

Средства измерений (СИ) нормируются в виде пределов основной и дополнительных допускаемых погрешностей и связанного с ним понятия класса точности [1].

В измерительном устройстве [2] можно выделить измерительный канал и измерительные компоненты, выполняющие часть преобразований канала системы. К измерительным компонентам относятся датчик, измерительная схема, аналоговые и цифровые устройства, линии связи и т.п.

Измерительный канал (ИК) представлен тремя компонентами: мостовой схемой измерения с тензорезисторами, нормирующего усилителя (НУ) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Таким образом, расчетная погрешность ИК будет определяться суммарной погрешностью составляющих его компонентов.

При расчете результирующей погрешности канала необходимо каждой из составляющих погрешности приписать соот-

ветствующий закон распределения, найти среднее квадратическое отклонение (СКО), подразделить погрешности на аддитивные и мультипликативные. Выделить группы сильно коррелированных между собой составляющих погрешности ( $\rho=0,7\dots 1,0$ ) и слабо коррелированных ( $\rho=0\dots 0,7$ ).

Выбор законов распределения и проведенный расчет результирующей погрешности ИК основан на данных работы [3].

Для расчета погрешности ИК в качестве основных влияющих факторов, определяющих погрешности отдельных СИ, рассмотрены колебания температуры в помещении, где эксплуатируется комплекс и колебания напряжения питания. Измерительный комплекс используется в цехах текстильных предприятий, где температура колеблется  $\pm 10^\circ\text{C}$  около среднего значения  $+25^\circ\text{C}$ . Закон распределения темпе-

ратуры в цехе (лаборатории) считаем равномерным.

Питание измерительного комплекса осуществляется от сети 220 В, 50 Гц с нестабильностью  $\pm 15\%$ , поэтому для питания тензорезисторов и нормирующего усилителя используются стабилизаторы напряжения с коэффициентом стабилизации  $K_T = 1000$  и  $K_{н.у} = 100$ . Колебания напряжения подчиняются треугольному закону.

Тензорезисторы являются средством измерения, конкретные экземпляры которых не градуируются, их метрологические характеристики определяются статистически и выражаются в основном в виде средних значений и СКО в выборке, распространяемых на всю партию.

Согласно [4] основная погрешность тензорезистора как средства измерения деформаций может быть записана в виде:

$$\gamma_T = 0,01\Pi_{0,5}\varepsilon + \lambda\varepsilon \sqrt{\left(\frac{S_k}{K}\right)^2 + (\Pi_{0,3})^2 \cdot 10^{-4} + (S_n)^2 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{\sqrt{2}K_{st} \cdot 10}{3K\varepsilon} \cdot 100\right)^2}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – измеряемая относительная деформация;  $\Pi_{0,5} = 0,7\Pi_1$ ;  $\Pi_{0,3} = 0,5\Pi_1$ ;  $\Pi_1$  – средняя величина ползучести при нормальной температуре;  $\lambda$  – коэффициент, зависящий от заданной вероятности  $P$  и вида закона распределения погрешностей;  $K$  – среднее значение;  $S_k$  – СКО коэффициента тензочувствительности;  $K_{st}$  – СКО температурного коэффициента сопротивления;  $S_n$  – СКО ползучести.

Вычисленная по формуле (1) основная погрешность тензорезистора равна  $\gamma_T \approx 1,5\%$ , закон распределения равномерный, погрешность аддитивная. Тогда СКО основной погрешности тензорезистора:

$$\sigma_T = \frac{\gamma_T}{k}, \quad (2)$$

где  $k = \sqrt{3}$  – энтропийный коэффициент равномерного закона [3].

Температурная погрешность датчиков с тензорезисторами достигает  $0,3\%$  на  $10^\circ\text{C}$ . Эта погрешность аддитивна. При равно-

мерном законе распределения температуры с размахом  $\pm 10^\circ\text{C}$  максимальное значение этой погрешности составляет  $\gamma_{\Theta T} = 0,3\%$ . СКО по формуле (2)  $\sigma_{\Theta T} = 0,173\%$ .

Погрешность тензорезистора от нестабильности питания является мультипликативной и распределена по тому же закону, что и отклонения напряжения сети от номинального значения 220 В. При треугольном законе распределения напряжения сети напряжение на выходе стабилизатора подчиняется этому же закону, но размах колебаний снижен в  $K_T = 1000$  раз, энтропийный коэффициент для треугольного распределения  $k = \sqrt{6}$ .

Погрешность линейности функции преобразования мостовой измерительной схемы приблизительно равна  $0\%$  вследствие того, что выбрана схема с четырьмя рабочими плечами, относительные изменения сопротивлений которых одинаковы.

Погрешность от напряжения наводки на вход нормирующего усилителя рассчитана следующим образом. Амплитуда на-

пряжения наводки частотой 50 Гц, измеренная на выходе НУ с помощью осциллографа, составляет 10 мВ при максимальном сигнале с НУ 2 В. Закон распределения арксинусоидальный, энтропийный коэффициент  $k = \sqrt{2}$ . Погрешность является мультипликативной.

Погрешность смещения нуля НУ при колебаниях температуры является аддитивной и повторяет закон распределения температуры в производственном помещении. Влияние температуры на операционный усилитель К551УД1А в схеме НУ приводит к смещению его нуля на 0,1%/10°C.

Погрешность коэффициента усиления НУ является мультипликативной и распределена по треугольному закону, так как вызывается колебаниями напряжения питания. Погрешность применяемого АЦП Ф7077М/2 нормирована по паспорту пределом допускаемой основной приведенной погрешности  $\gamma_{\text{АЦП}} = 0,6\%$ , закон распределения равномерный, погрешность аддитивная.

Результаты выполненных расчетов приведены в табл. 1 (составляющие погрешности измерительного канала). Наибольшее влияние на суммарную погрешность ИК оказывают погрешности тензорезистора и АЦП.

Т а б л и ц а 1

Средство измерения	Вид погрешности	Закон распределения	СКО, %	Характер погрешности
Тензорезистор	Основная	Равномерный	0,867	Аддитивный
	Температурная	Равномерный	0,173	Аддитивный
	Напряжения питания	Треугольный	0,006	Мультипликативный
Нормирующий усилитель	Напряжения наводки	Арксинусоидальный	0,0035	Мультипликативный
	Температурная	Равномерный	0,05	Аддитивный
	Напряжения питания	Треугольный	0,06	Мультипликативный
АЦП	Основная	Равномерный	0,346	Аддитивный

Суммирование при расчете результирующей погрешности сводится к вычислению приведенной погрешности в начале диапазона измерения, путем сложения аддитивных составляющих, и в конце диапазона, путем сложения всех составляющих. Согласно [3] коррелированными являются те погрешности, которые вызываются одной и той же общей причиной и имеют одинаковый закон распределения. В нашем случае – это погрешность тензорезистора и НУ от колебаний температуры в производственном помещении и колебаний напряжения питания. Результирующее значение СКО аддитивных составляющих:  $\sigma_{\text{адд}} = 0,22\%$ , СКО мультипликативных:  $\sigma_{\text{мул}} = 0,0695\%$ .

После учета корреляционных связей все погрешности суммируем как независимые. СКО в начале диапазона:  $\sigma_{\text{Н}}=0,96\%$ , в конце диапазона измерения:  $\sigma_{\text{к}}=0,96\%$ .

Так как  $\sigma_{\text{Н}} \approx \sigma_{\text{к}}$ , то результирующая погрешность ИК является аддитивной, а закон распределения – трапецеидальным.

Энтропийный коэффициент композиции двух равномерных распределений погрешности (тензорезистора и АЦП, как наиболее весомых)  $k = 1,93$ . Значение приведенной погрешности ИК:  $\gamma_{\text{кл}}=0,96 \cdot 1,93=1,85\%$ .

С учетом запаса на старение класс точности ИК будет равен 2,5. Старение средств измерений происходит не быстрее 0,1 $\gamma_{\text{кл}}$  в год. Такой запас нормируемой погрешности канала обеспечит межремонтный период около 7 лет.

## ВЫВОДЫ

Выделены основные компоненты, составляющие измерительный канал и правила расчетного определения результирующей погрешности, а также определен класс точности измерительного канала комплекса [2] с учетом запаса на старение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.401–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности

средств измерений. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1981.

2. *Латишин В.В., Ломагин В.Н.* Программно-аппаратный комплекс для диагностики процесса тканеобразования на основе ЭВМ типа Notebook // Текстильная промышленность. – 1999, № 2, 3. С.24.

3. *Новицкий П.В., Зограф И.А.* Оценка погрешностей результатов измерений. –Л.: Энергоатомиздат, 1991.

4. *Клокова Н.П.* Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки. – М.: Машиностроение, 1990.

Рекомендована кафедрой автоматизации и микропроцессорной техники. Поступила 24.03.11.

---